

**Tesis Monográfica para optar al Título de**  
**Ingeniero Eléctrico**

**Título**

**“ESTUDIO DE PERFIL DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA BOMBEO  
DE AGUA EN LA COMUNIDAD DE SAN ANTONIO DEL MUNICIPIO DE  
DIRIMABA”.**

**Autores:**

- Br. Luis David Campuzano Bautista 2012-41025
- Br. Carlos Javier Campuzano Bautista 2010-32618

**Tutor:**

Ing. Juan González Mena

**Managua, Octubre 2016**

## ÍNDICE DE CONTENIDO

I. Introducción .....	3
II. Antecedentes .....	4
III. Planteamiento del Problema.....	5
IV. Objetivos del Estudio.....	6
V. Justificación .....	7
VI. Metodología de Trabajo .....	8
VII. Marco Teórico .....	10
1. Radiación solar .....	10
2. Paneles Fotovoltaicos.....	11
3. Subsistema motor bomba .....	13
3.1 Motores.....	13
3.2 Bombas.....	15
4. Equipo de bombeo compatible con sistemas fotovoltaicos. ....	16
4.1 Bombas centrífugas .....	17
4.2 Bombas volumétricas .....	18
4.3 Bombas de cilindro.....	19
4.4 Bombas de diafragma.....	19
5. Bombeo Fotovoltaico .....	20
6. Funcionamiento del sistema de bombeo solar .....	22
7. Descripción del sistema de bombeo Fotovoltaico .....	23
VIII. Dimensionamiento del sistema de Bombeo Fotovoltaico .....	36
IX. Conclusiones y Recomendaciones.....	46
X. Bibliografía.....	48

---

## **I. Introducción**

El objetivo principal del estudio es diseñar un sistema alternativo de producir energía eléctrica a través de paneles solares fotovoltaicos y bombear agua desde un pozo para beneficio de la comunidad de san Antonio aprovechando así de esta manera la fuente de energía solar que, como todos sabemos, es prácticamente inagotable.

El bombeo de agua con energía solar fotovoltaica (FV) es una aplicación de especial interés en sistemas aislados. Esta tecnología ha demostrado a lo largo de los años ser un modo efectivo de suministro de agua potable para usuarios y comunidades rurales, así como para aplicaciones agrícolas (irrigación) y ganaderas (abrevaderos).

Es posible adoptar distintas soluciones tecnológicas para bombear un determinado volumen de agua a una determinada altura en función de los rangos de potencia (producto altura por caudal) requeridos. En la mayor parte de los casos, la solución más eficiente y económica es usar un sistema de bombeo en el que se conecta un generador fotovoltaico a un conjunto motor/bomba mediante un determinado dispositivo de acondicionamiento de potencia entre ambos

Por otra parte, este tipo de tecnología presenta numerosas ventajas: instalación simple, emplea una fuente de energía limpia y gratuita, su operación es automática y silenciosa, requiere poco mantenimiento y es amigable con el ambiente.

Dos ventajas en las instalaciones de generación de energía eléctrica a través de un sistema fotovoltaico es que son autónomos y pueden estar interconectadas a la red de suministro eléctrico, de donde se deriva una de sus más importantes aplicaciones en la actualidad.

El propósito de esta Tesis es presentar una solución a los sistemas de bombeo de agua con energía solar fotovoltaica ya que es una aplicación de especial interés en sistemas aislados.

---

---

## **II. Antecedentes**

Cabe destacar la exitosa implementación de numerosos programas de cooperación internacional en el área de bombeo FV como la “Fundación san Lucas”, donde se han instalados 28 sistemas de bombeo FV para el suministro de agua a comunidades rurales, todas unidades sumergibles.

También desde 1980 el FIDA ha financiado cinco proyectos en Nicaragua por un monto total de USD 61,4 millones de dólares. La región seca fue priorizada por concentrar el 60% de las familias rurales más pobres del país.

Estos proyectos dirigieron sus esfuerzos para capitalizar la producción rural y promocionar la economía campesina con tres conceptos básicos: manejo de agua, capitalización de las fincas y fortalecimiento de los servicios de apoyo a la producción \_casos del TROPISEC, 1993 y PROSESUR, 2003. Desde 1998 el FIDA cuenta con un nuevo marco estratégico que reafirma su apoyo al desarrollo rural de la región seca a largo plazo.

En Nicaragua el proyecto PRODESEC del IDR en el 2010 beneficio a pequeños productores de zonas aisladas del Departamento de León y Chinandega de pozos perforados con Bombas de diésel y bombas de mecate. No dando así una solución viable a las necesidades de las comunidades.

Además, en el proyecto de El Manantial cuentan con un Centro Experimental para aprovechar la tecnología como un instrumento clave en sus prácticas de cultivo, partiendo por la selección de lo que siembran y con miras a que los beneficiarios tengan alimentos durante todo el año.

En el desarrollo de esta iniciativa, además la fundación ha contado con el respaldo de la Universidad Nacional Agraria - Trocaire.

---

---

### **III. Planteamiento del Problema**

La comunidad de san Antonio se encuentra al Noroeste del Municipio de Diriamba con una población de 60 habitantes, actualmente está aislada del sistema de distribución eléctrico nacional, el escasez de agua es una problemática que siempre los ha afectado, tiene una extensa zona agrícola, donde generalmente se cultivan hortalizas y frijoles, que requieren agua para su irrigación. En esta meseta de los pueblos, tiene como característica que existen zonas que hay aguas subterráneas en distintas zonas, a distinto niveles de profundidad.

La Profundidad de las aguas subterráneas en el área investigada fluctúa entre los 290 pies y 325 pies.

Para hacer uso de este líquido se requiere de la instalación de bombas de agua para succionar y transportar el agua a la zona de cultivo, como para uso doméstico.

En zona rural no existe tendido de red eléctrica, por lo que hacer un tendido de una red eléctrica resultaría un poco costoso para un pequeño sistema de bombeo, la disponibilidad de agua durante el año es buena, es por ello la construcción de pozos que se encuentran equipados con sistemas fotovoltaicos.

Para elaborar el presente trabajo de investigación se toma en cuenta hacer estudio de una fuente energética limpia de bajo impacto ambiental que tenga una amplia disponibilidad en distintos puntos y que sea renovable.

La energía solar fotovoltaica es una fuente de energía viable para nuestro propósito por cumplir con las condiciones y requisitos necesarios para nuestro estudio en el cual la energía solar fotovoltaica será usada como fuente generadora de energía eléctrica para accionar las bombas de agua. Aunque actualmente, resulte excesivamente costoso, es una aplicación que puede presentar en el futuro un gran potencial de desarrollo.

---

---

## **IV. Objetivos del Estudio**

### **2.3 Objetivo General**

- Presentar una visión general del uso de la energía solar fotovoltaica para sistemas de bombeo de agua con una perspectiva de viabilidad y factibilidad en el uso doméstico, así como para irrigación en zonas rurales del municipio de Diriamba.

### **2.4 Objetivo Específicos**

- Diseñar un proyecto de energía fotovoltaica con características de Viabilidad para el bombeo de agua.
- Realizar el estudio de cálculos de fuente de generación y los cálculos hidráulicos del sistema de bombeo fotovoltaicos.

---

## **V. Justificación**

La situación que se vive en nuestro planeta debido a la contaminación producida por la utilización de energía generada de combustibles fósiles, ha obligado a tomar alternativas como las energías renovables para reducir en cierta medida el daño ecológico causado.

El aprovechamiento de la energía solar es una de las opciones para detener y mitigar los daños que la sociedad ha causado y causa en la naturaleza, es por eso que se requiere de equipos y sistemas en los cuales se implementen las diferentes aplicaciones de la energía solar, entre las cuales se encuentra el bombeo fotovoltaico.

En base a los criterios mencionados en los párrafos anteriores, es que se fundamenta la decisión de diseñar un sistema de bombeo de agua que funcione a través de energía solar fotovoltaica, con el propósito de dar solución a comunidades aisladas de fuentes convencionales de energía eléctrica.

La importancia en desarrollar un sistema de bombeo fotovoltaico es demostrar que sus aplicaciones están a nuestro alcance y comprobar que este tipo de sistema posee la factibilidad económica para poder implementarse dentro de cualquier ámbito industrial.

El uso de energías provenientes de combustibles fósiles es, en esos casos, el más ampliamente difundido para la extracción y traslado de líquido hasta los lugares de almacenamiento y consumo. Lo anterior implica por lo general costos de operación y mantenimiento sumamente altos, que en muchas ocasiones no pueden ser pagados por los usuarios.

Este tipo de situaciones somete a muchas comunidades a los estragos de la sequía o bien a utilizar fuentes de agua superficiales altamente contaminantes y perjudiciales para la salud.

---

---

## **VI. Metodología de Trabajo**

En esta metodología se hace un análisis de los pasos a realizar en el diseño del sistema fotovoltaico para bombeo de agua, así como los criterios que se tienen que considerar para poder ser aplicados, contemplando las normas de diseño eléctrico y el dimensionamiento del sistema de bombeo.

Breve descripción de cómo realizar el diseño del sistema en una zona rural:

1. Visitar el lugar de la instalación. Determinar un diseño general del sistema.
  2. Obtener información del pozo y la capacidad de generación de agua, esto es, diámetro, profundidad, descensos estacionales, nivel del agua, capacidad de generación (l/hora). El ritmo de bombeo ha de ser menor que la capacidad regenerativa del pozo para que este no se seque. Consultar con los usuarios de la instalación y la gente del lugar que suele tener buena información acerca de sus pozos. En caso contrario se puede acudir a las administraciones hidráulicas locales o nacionales. Teniendo en cuenta la ubicación de la comunidad es necesario determinar la problemática a resolver y ver cuál es la solución más viable al problema.
  3. Estimar las necesidades de agua para la aplicación en cada mes. En el caso de sistemas para riego o para suministro de agua para ganado también el usuario suele conocer con bastante exactitud el volumen de agua que necesita para sus cultivos. En el caso de suministro para población utilizar las tablas indicativas para el tipo medio de vida del lugar.
  4. Determinar la altura manométrica total de bombeo, teniendo en cuenta que la altura total es la suma de la altura estática y la altura dinámica debida a pérdidas de carga en las tuberías.
-



- 
5. Calcular la energía hidráulica para cada mes, como el producto del caudal por la altura total.
  6. Obtener los datos de irradiación diaria media mensual y determinar el mes de dimensionado y la inclinación del generador fotovoltaico.
  7. Determinar la potencia pico del generador FV teniendo en cuenta el rendimiento del tipo de bomba a utilizar.
  8. Seleccionar una bomba teniendo en cuenta las características altura-caudal.
  9. Determinar el caudal pico y dimensionar las tuberías (seleccionar un diámetro adecuado para satisfacer la altura dinámica considerada en el punto 4).

Finalmente, a partir de los valores obtenidos en estos apartados se procede a la elección de los componentes del sistema a partir de las características de los distintos elementos.

Una vez seleccionados los elementos que se adecuen a los resultados del dimensionado es conveniente repetir los cálculos, iterando al menos una vez, para obtener una mejor estimación de los rendimientos y factores de desacoplo y de este modo un dimensionado óptimo.

---

---

## VII. Marco Teórico

### 1. Radiación solar

#### **Radiación.**

Radiación Solar: La radiación solar es la energía electromagnética que mana en los procesos de fusión del hidrógeno (en átomos de helio) contenido en el sol.

La energía solar que en un año llega a la tierra a través de la atmósfera es de tan sólo aproximadamente 1/3 de la energía total interceptada por la tierra fuera de la atmósfera y, de ella, el 70% cae en los mares. Sin embargo, la energía que queda, de  $1.52 \cdot 10^{17}$  Kwh , que en un año cae sobre la tierra firme, es igual a varios miles de veces el consumo total energético mundial actual.

La radiación solar (flujo solar o densidad de potencia de la radiación solar) recogida *fuera de la atmósfera* sobre una superficie perpendicular a los rayos solares es conocida como *constante solar* y es igual a  $1366 \text{ W/m}^2$  , variable durante el año un 3% a causa de la electricidad de la órbita terrestre.

***Radiación Solar Directa:*** es la radiación solar por unidad de tiempo y unidad de área, que sin haber sufrido modificación en su trayectoria, incide sobre una superficie.

***Radiación Solar Reflejada:*** es la radiación por unidad de tiempo y unidad de área que, procedente de la reflexión de la radiación solar en el suelo y otros objetos, incide sobre una superficie.

***Radiación Difusa:*** es la suma de la radiación difusa celeste y la radiación solar reflejada.

---

---

**Horas Sol Pico:** es el número de horas de sol que con una radiación global de 1000 W/m<sup>2</sup> proporciona una energía equivalente a la radiación global recibida en un período de tiempo.

**Albedo o Reflectancia:** es la relación entre la radiación reflejada por una superficie la que incide sobre ella.

## 2. Paneles Fotovoltaicos.

**Efecto fotovoltaico:** transformación directa de energía luminosa en energía eléctrica.

Este fenómeno físico denominado "efecto fotovoltaico", que básicamente consiste en convertir la luz solar en energía eléctrica por medio de unos dispositivos semiconductores denominados células fotovoltaicas.

Estas células están elaboradas a base de silicio puro (uno de los elementos más abundantes, componente principal de la arena) con adición de impurezas de ciertos elementos químicos (boro y fósforo), y son capaces de generar cada una corriente de 2 a 4 Amperios, a un voltaje de 0,46 a 0,48 Voltios, utilizando como fuente la radiación luminosa.

Las células se montan en serie sobre paneles o módulos solares para conseguir un voltaje adecuado. Parte de la radiación incidente se pierde por reflexión (rebota) y otra parte por transmisión (atraviesa la célula).

El resto es capaz de hacer saltar electrones de una capa a la otra creando una corriente proporcional a la radiación incidente. La capa antirreflejo aumenta la eficacia de la célula.

---

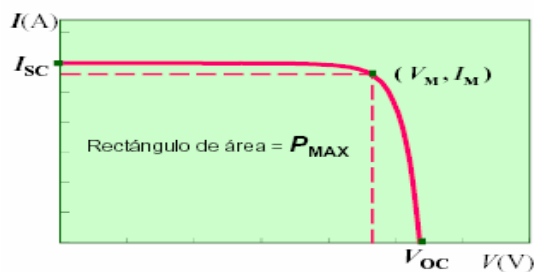
**Célula solar:** dispositivo unitario correspondiente al elemento semiconductor que presenta el efecto fotovoltaico, ya esté protegido de ambiente exterior o no.

**Módulo Solar:** conjunto de células solares interconectadas y montadas sobre un mismo soporte protector.

**Tensión de Circuito Abierto:** es la diferencia de potencial medido en los bornes de una célula o módulo cuando el circuito está abierto en unas ciertas condiciones de medida.

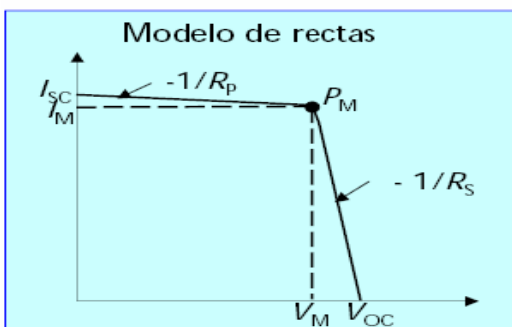
**Corriente de Cortocircuito:** es el valor de la corriente que proporciona la célula o módulo iluminados bajo condiciones estándar, cuando sus bornes están cortocircuitados.

**Potencia máxima:** es la máxima potencia que en determinadas condiciones de medida pueda proporcionar una célula o módulo solar.



$I_{SC}$  = Corriente cortocircuito  
 $V_{OC}$  = Tensión de circuito abierto  
 $I_M$  = Corriente de máxima potencia  
 $V_M$  = Tensión de máxima potencia  
 $P_M$  = Potencia máxima =  $I_M V_M$   
 $FF$  = Factor de forma =  $P_M / (I_{SC} V_{OC})$   
 Eficiencia de conversión ó rendimiento  

$$\eta = \frac{P_M}{S \cdot G}$$
 $S$  = Área célula  
 $G$  = Irradiancia



$$V < V_M$$

$$I = I_{SC} - V/R_P \quad \text{ó} \quad I = I_M$$

$$V \geq V_M$$

$$I = \frac{V_{OC} - V}{R_S}$$

---

### **3. Subsistema motor bomba**

Para el subsistema motor – bomba lo detallaremos en dos partes:

- Motores
- Bombas

#### **3.1 Motores**

Los motores son los encargados de transformar la energía eléctrica suministrada por el sistema generador en energía mecánica. Los motores que se precisan en aplicaciones de bombeo fotovoltaico deben ser de pequeña potencia y deben tener rendimientos elevados.

Este tipo de motores no son habituales por lo que pueden ser más costosos. Dependiendo del tipo de alimentación eléctrica los motores podemos distinguir entre motores de corriente continua y motores de corriente alterna.

Dentro de los motores de los motores de corriente continua podemos distinguir entre motores de imanes permanentes con escobillas y sin escobillas, motores serie, motor Shunt o motores compound.

Dentro de los motores de corriente alterna podemos distinguir entre motores monofásicos y motores trifásicos en función del tipo de corriente para el que estén diseñados y, por otro lado, también pueden ser motores síncronos o motores asíncronos.

Las partes fundamentales de un motor de corriente continua son el inductor o estator que es la parte fija de la máquina, el inducido o rotor que es la parte giratoria, el colector que va montado sobre el mismo eje que el rotor y giran simultáneamente, las escobillas

---

---

que son unos contactos a presión que rozan sobre el colector y tienen como misión la entrada y salida de la corriente del rotor.

Los motores de corriente continua se caracterizan por su voltaje, potencia y velocidad nominal y por el par motor. La potencia que puede desarrollar un motor es proporcional al par motor y a la velocidad. El par motor es proporcional al flujo inductor y a la intensidad de carga. La velocidad de giro del motor varía con el voltaje e intensidad de funcionamiento así como el flujo magnético.

Las principales ventajas de los motores de corriente continua son sus altos rendimientos, el no necesitar un inversor y se adaptan bien para su acoplamiento directo al generador fotovoltaico.

Los motores de corriente alterna están más extendidos siendo más fácil de encontrarlos en potencias mayores. Son más baratos y eficientes que los de corriente continua, pero obligan a la instalación de un sistema inversor y a dispositivos que permitan proporcionar o reducir las altas corrientes que suelen requerir. Arranque lo que encarece el sistema fotovoltaico.

Los motores de corriente alterna constan igualmente de dos partes de rotor y estator. En el inducido, que suele estar en el estator, las corrientes alternas que lo recorren producen un campo magnético giratorio como consecuencia de la superposición de tres campos magnéticos alternantes desfasados en el espacio y el tiempo o por descomposición de un campo magnético alternante senoidal en dos campos magnéticos giratorios en sentidos contrarios.

Los motores de corriente alterna se caracterizan generalmente por sus tensiones nominales, la intensidad nominal, la potencia nominal, por su velocidad de giro en función de la frecuencia de alimentación, y por su par motor.

---

---

## 3.2 Bombas

Una bomba es la máquina que transforma la energía mecánica en energía hidráulica. Se puede distinguir dos tipos principales de bombas: bombas de desplazamiento positivo o volumétrico y bombas dinámicas o de intercambio de cantidad de movimiento.

Las bombas de desplazamiento positivo poseen una cavidad cuyo volumen varía como consecuencia del movimiento de una parte móvil, obligando al líquido que las llena a moverse en un sentido determinado por la apertura y cierre de válvulas.

La más usada en bombeo fotovoltaico de este tipo bombas es la bomba de pistón. Las bombas de pistón son apropiadas para los valores elevados de altura manométrica y bajos caudales.

Las bombas dinámicas le transfieren al fluido una cantidad de movimiento mediante paletas o alabes giratorios. La más utilizada es la bomba centrífuga. Las bombas centrífugas se diseñan para alturas manométricas determinadas y proporcional más caudal que las bombas de desplazamiento positivo. No son recomendables para alturas de aspiración mayores de 5 -6 metros y pueden tener uno o varios cuerpos dependiendo de la altura de impulsión necesaria.

Para caracterizar las bombas se utilizan curvas características que relacionan el caudal con la altura manométrica que pueden suministrar para un régimen de revoluciones determinado.

Además el rendimiento de las bombas centrífugas disminuye rápidamente con la velocidad de giro, las bombas centrífugas reúnen una serie de ventajas entre las que destacamos su simplicidad, con pocas partes móviles, su bajo costo, su robustez y la tolerancia a los pequeños pares de arranque.

---

---

También podemos clasificar las bombas en función de su forma de instalación en sumergibles, flotantes y de superficie. Las bombas sumergibles son apropiadas para los pozos de poco diámetro donde las variaciones de nivel son importantes para la acumulación de agua se hace en altura.

Las bombas flotantes se instalan en ríos, lagos o pozos de gran diámetro permitiendo una altura de aspiración constante y proporcionando un gran caudal con poca altura manométrica.

Las de superficie se instalan en aquellos lugares en los que los niveles de agua de aspiración no sufre grandes oscilaciones, permitiendo la altura de aspiración dentro de un rango admitido por la bomba, generalmente  $< 6$  m. en algunos casos las bombas son auto aspirantes como las utilizadas en piscinas que no requieren cebado de la tubería de aspiración (generalmente,  $h_{\text{aspiración}} < 3\text{m}$ ).

#### **4. Equipo de bombeo compatible con sistemas fotovoltaicos.**

Las bombas comunes disponibles en el mercado han sido desarrolladas pensando en que hay una fuente de potencia constante. Por otro lado, la potencia que producen los módulos FV es directamente proporcional a la disponibilidad de la radiación solar.

Es decir, a medida que el sol cambia su posición durante el día y al variar la disponibilidad de potencia también cambia la disponibilidad de potencia de la bomba.

Por esta razón se han creado bombas especiales para la electricidad fotovoltaica las cuales se dividen desde el punto de vista mecánico en centrífugas y volumétricas.

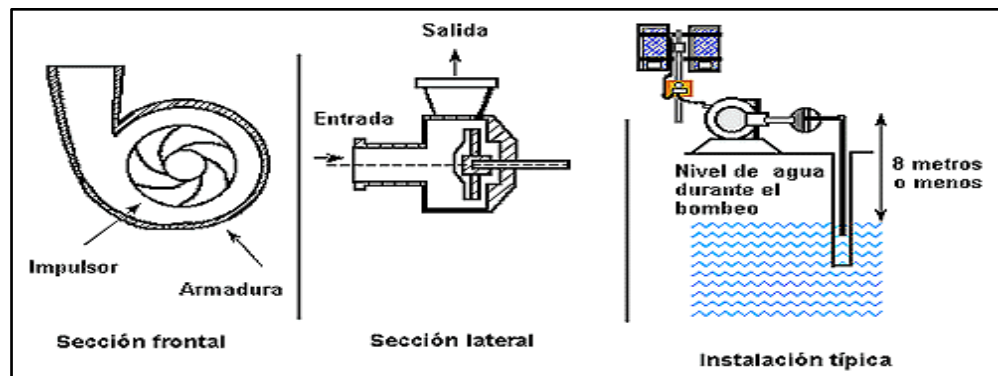
---



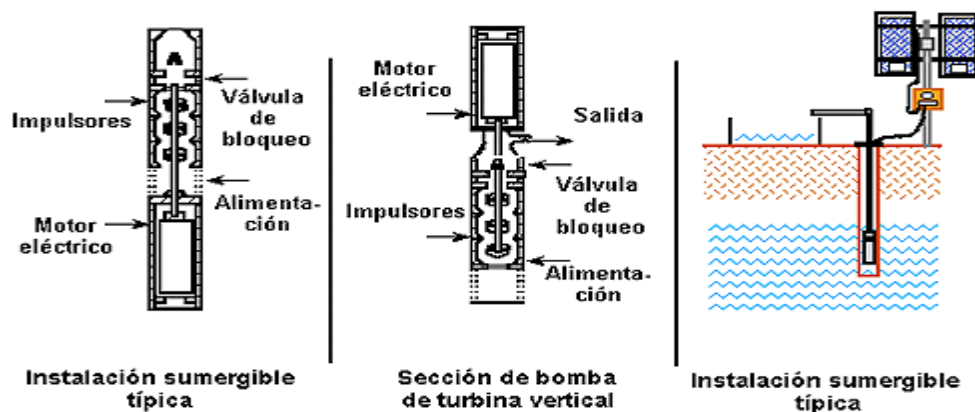
## 4.1 Bombas centrífugas

Tienen un impulsor que por medio de la fuerza centrífuga de su alta velocidad arrastran agua por su eje y la expulsan radialmente. Estas bombas pueden ser sumergibles o de superficie son capaces de bombear el agua a 60 metros o más, dependiendo del número y tipo de impulsores.

Están optimizadas para un rango estrecho de cargas dinámicas totales y la salida de agua se incrementa con su velocidad rotacional. Las bombas de succión superficial se instalan a nivel del suelo y tienen ventaja de que se les puede inspeccionar y dar servicio fácilmente. Tienen la limitante de que no trabajan adecuadamente si la profundidad de succión excede los 8 metros.



Hay una gran variedad de bombas centrífugas sumergibles.



---

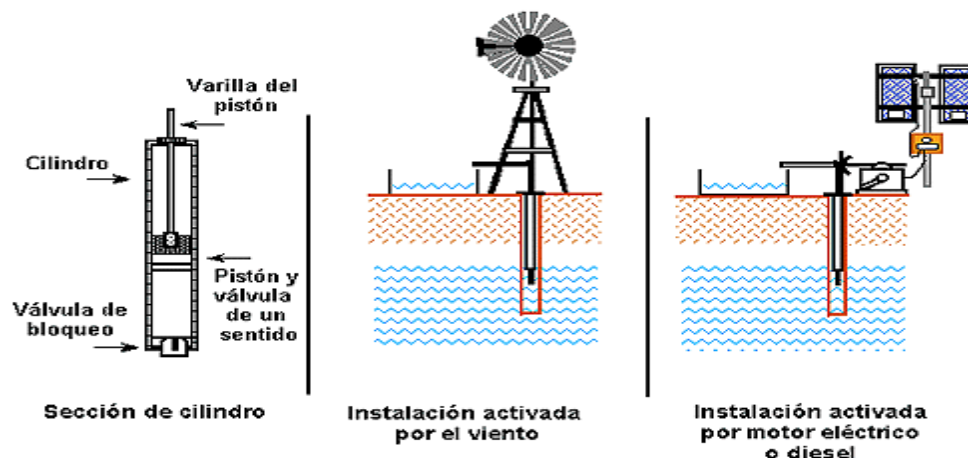
Algunas de estas bombas tienen el motor acoplado directamente a los impulsores y se sumergen completamente. Otras, tienen el motor en la superficie mientras que los impulsores se encuentran completamente sumergidos y unidos por una flecha. Generalmente las bombas centrífugas sumergibles tienen varios impulsores y por ello, se les conoce como bombas de paso múltiple.

Todas las bombas sumergibles están selladas y tienen el aceite de lubricación contenido para evitar contaminación del agua. Otras bombas utilizan el agua misma como lubricante. Estas bombas no deben operarse en seco por que sufren sobrecalentamiento.

## 4.2 Bombas volumétricas

Las bombas volumétricas o de desplazamiento positivo son adecuadas para el bombeo de bajos caudales y/o donde la profundidad es grande. Algunas de estas bombas usan un cilindro y un pistón para mover paquetes de agua a través de una cámara sellada. Otras utilizan un pistón con diafragmas.

Cada ciclo mueve una pequeña cantidad de líquido hacia arriba. El caudal es proporcional al volumen de agua. Esto se traduce a un funcionamiento eficiente en un amplio intervalo de cargas dinámicas. Cuando la radiación solar aumenta también aumenta la velocidad del motor y por lo tanto el flujo de agua bombea es mayor.



---

### **4.3 Bombas de cilindro**

Las bombas de cilindro han sido muy populares en aplicaciones de bombeo mecánico activadas por el viento, tracción animal o humana. Su principio consiste en que cada vez que el pistón baja, el agua del pozo entra a su cavidad y cuando este sube, empuja el agua a la superficie.

La energía eléctrica requerida para hacerla funcionar se aplica solo durante una parte del ciclo de bombeo. Las bombas de esta categoría deben estar siempre conectadas a un controlador de corriente para aprovechar al máximo la potencia otorgada por el arreglo fotovoltaico.

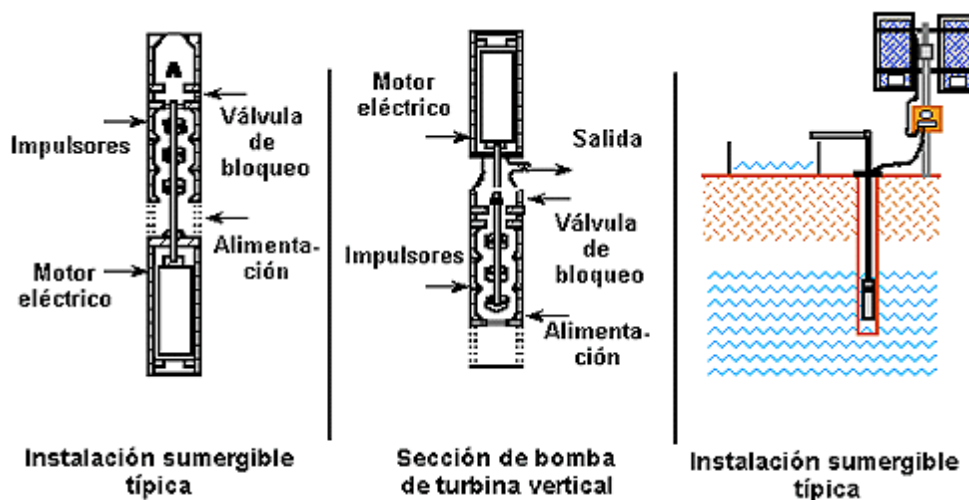
### **4.4 Bombas de diafragma**

Las bombas de diafragma desplazan el agua por medio de diafragmas de un material flexible y resistente. Comúnmente los diafragmas se fabrican de caucho reforzado con materiales sintéticos.

En la actualidad, estos materiales son muy resistentes y pueden durar de dos a tres años de funcionamiento continuo antes de requerir reemplazo dependiendo de la calidad del agua.

Los fabricantes de estas bombas producen un juego de diafragmas para reemplazo que pueden adquirirse a un precio razonable. Existen modelos sumergibles y no sumergibles.

---



Las bombas de diafragma son económicas. Cuando se instala una bomba de este tipo siempre se debe considerar el gasto que representa el reemplazo de diafragmas una vez cada dos o tres años. Más aun, muchas de estas bombas tienen un motor de corriente continua con escobillas.

Las escobillas también deben cambiarse periódicamente. Los juegos de reemplazo incluyen los diafragmas, escobillas, empaques y sellos. La vida útil de este tipo de bomba es aproximadamente 5 años del uso.

## 5. Bombeo Fotovoltaico

El bombeo de agua con energía fotovoltaica se presenta como una de las aplicaciones más importantes de la energía solar. Es especialmente interesante en zonas rurales en donde los pozos se encuentran en lugares de difícil acceso a la red eléctrica.

El bombeo solar de agua para riego, que aunque en actualmente, resulte excesivamente costoso, es una aplicación que puede presentar en el futuro de un gran potencial de desarrollo. Teniendo en cuenta que las necesidades de agua para riego suelen ir asociadas a las épocas de mayor insolación, coincidiendo oferta y demanda.

---

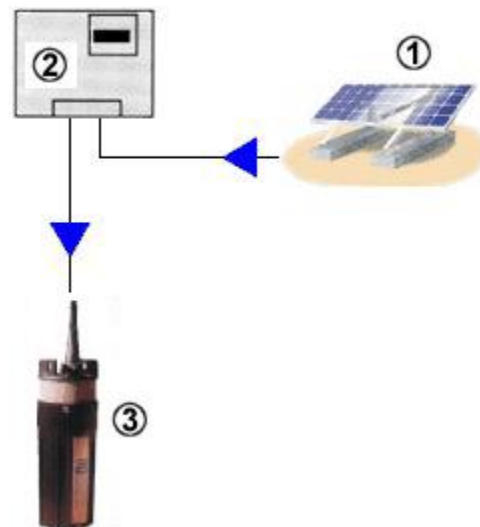
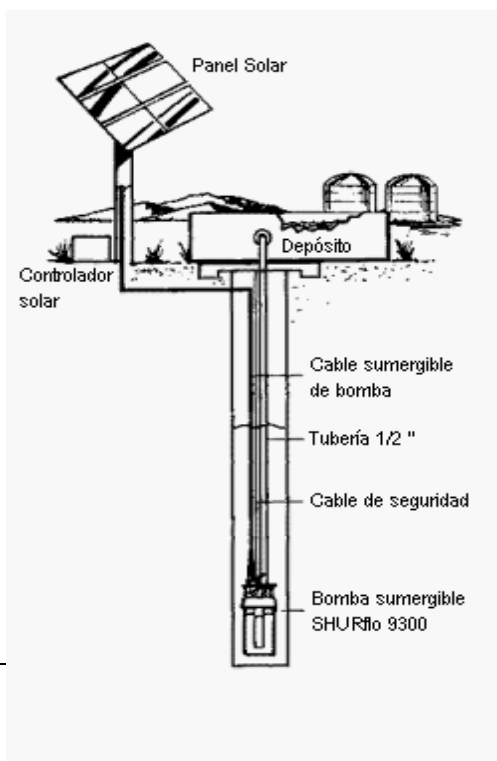
Los sistemas de bombeo fotovoltaicos para riego podrán presentar ventajas económicas frente a otras tecnologías de sistemas de riegos eficientes que permitan el ahorro del agua y energía, como son los sistemas de riego por goteo y se buscara maximizar la utilización de la energía disponible mediante una rotación sistemática de cultivos o cultivos permanentes.

Existen dos alternativas de sistemas de bombeos fotovoltaicos que son:

- **Bombeo solar directo:** El agua se extrae del pozo durante el tiempo de radiación solar únicamente, almacenándose en un depósito. Se evita los costes asociados a las baterías.
- **Bombeo con baterías:** Si las necesidades de extracción de agua son muy precisas o se necesita asegurar el suministro, pueden instalarse baterías para los periodos sin sol.

Los equipos que conforman esta aplicación son:

- **Módulos fotovoltaicos:** Captan la energía del sol y la convierten en electricidad en corriente continua
- **Acoplamiento módulos-bomba:** Transforma la energía generada por los módulos fotovoltaicos en adecuada para el funcionamiento de la bomba
- **Bomba:** El equipo fundamental que extrae el agua del pozo.



---

## 6. Funcionamiento del sistema de bombeo solar

Un sistema de bombeo fotovoltaico es similar a los sistemas convencionales excepto por la fuente de potencia como se muestra en la figura anterior, como sus principales componentes son: un arreglo de módulos fotovoltaico, un controlador, un motor y una bomba y por ultimo un tanque de almacenamiento.

El sistema generador estará constituido por un conjunto de arreglos de módulos fotovoltaicos (paneles solares) conectados en serie o en paralelos, los cuales generaran la energía necesaria para accionar el motor bomba, intermedio a ellos se encontrara un controlador electrónico para la bomba (amplificador de corriente) es un dispositivo electrónico que se usa con la mayoría las bombas solares.

Este actúa como una transmisión automática, ayudando a la bomba a encender y a no detenerse al disminuir la radiación solar.

Debe tenerse presente que la solución más simple y económica es acumular agua en lugar de energía eléctrica, usando una cisterna. Su incorporación permitirá minimizar el efecto causado por las variaciones estacionales de los recursos hidráulicos o desperfectos temporarios que interrumpan su funcionamiento, almacenar agua en tanques es mucho más económico que almacenar energía en baterías.

Después de 5 a 7 años, las baterías necesitan reemplazarse, mientras que la vida útil de un tanque de almacenamiento bien construido es de varias décadas, el almacenamiento por baterías normalmente se justifica solo cuando el rendimiento máximo del pozo durante las horas de sol es insuficiente para satisfacer las necesidades diarias de agua y cuando se requiere bombear agua durante la noche, en general no se recomienda utilizar baterías en los sistemas de bombeos fotovoltaicos, además se recomienda que al almacenar agua se hará para tres días de abasto.

---

---

El régimen del funcionamiento del sistema corresponderá con la situación en la que la potencia suministrada por el generador fotovoltaico sea igual a la absorbida por el motor, lo mismo que la tensión y la intensidad proporcionada por el sistema generador serán las aplicadas al motor.

Para diseñar un sistema será necesario conocer el rendimiento del sistema de bombeo que es la relación entre la potencia hidráulica y la potencia eléctrica absorbida. En los sistemas fotovoltaicos de bombeo de agua, la energía necesaria para accionar la bomba proviene del sol.

La energía solar es captada y transformada en energía eléctrica por medio de los dispositivos llamados celdas solares los cuales son la base de la construcción de los módulos fotovoltaicos.

El sistema generador (paneles solares) deberá elegirse de manera que el punto de trabajo este lo más próximo posible de su punto de máxima potencia ya que son la parte principal del sistema de bombeo fotovoltaico.

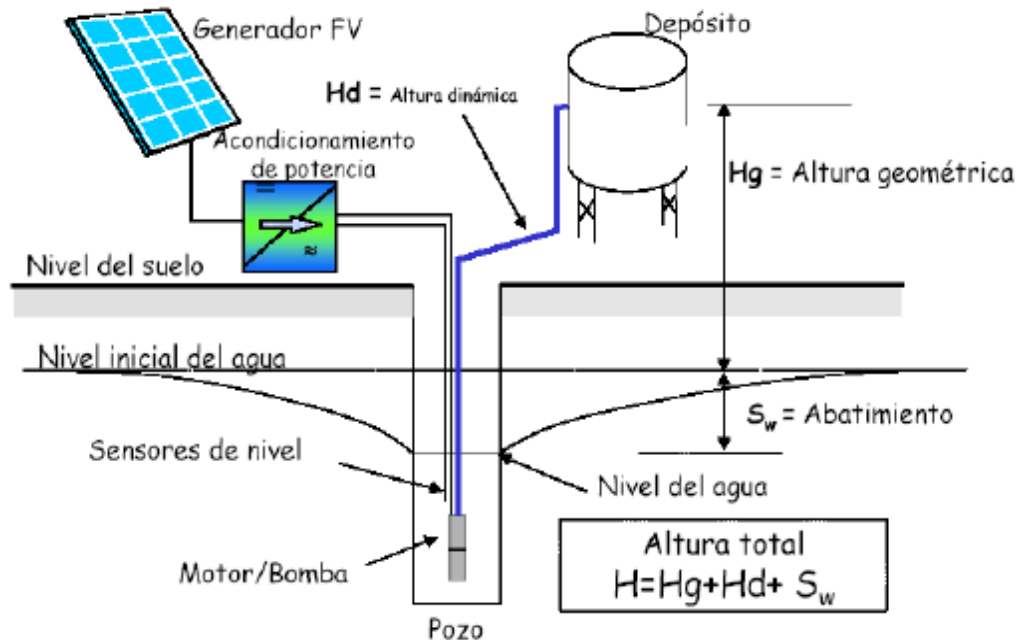
## **7. Descripción del sistema de bombeo Fotovoltaico**

Una instalación de bombeo fotovoltaico está compuesta principalmente por un generador FV, un motor/bomba, un pozo, un sistema de tuberías y un depósito de acumulación.

Se puede disponer de un sistema de acondicionamiento de potencia (controladores DC/DC, inversores DC/AC u otros dispositivos electrónicos) de acoplo entre el generador FV al motor, para poder operar motores AC o para incrementar el rendimiento medio diario en sistemas con motores DC que accionen bombas de desplazamiento positivo.

---

El sistema ha de estar debidamente instalado y protegido , utilizando sensores de nivel en el pozo y en el depósito de acumulación para evitar el desperdicio del agua y la operación en vacío. A pesar de que se instalen bombas de superficie o flotantes , la configuración más habitual es un sistema motobomba sumergible instalada en un pozo de sondeo.



Para llevar a cabo un diseño, se necesita calcular el valor de la altura del sistema a instalarse. Este valor representa la suma de todos los valores que deben ser tenidos en cuenta cuando la bomba está en actividad, a fin de determinar la potencia a instalarse ( ver figura ).

Uno de ellos es la profundidad dinámica del pozo  $H_d$ . Este valor es siempre superior al del valor estático ( $S_w$ ), ya que el nivel de agua se hace más profundo al extraerse el agua. A parte de haber pérdidas en el entubado. Dependiendo del caudal y la velocidad de extracción, esta variación puede ser despreciable o apreciable.



---

La altura de cisterna o deposito Hg, incrementa el valor total. En las tuberías se originan perdidas por rozamientos, estas deben ser consideradas en todo el sistema como una función del caudal. Es evidente que las pérdidas por fricción en las tuberías se incrementan de manera proporcional al caudal.

Por tal motivo se recomienda seleccionar un diámetro adecuado para que las pérdidas sean mínimas. Las pérdidas por fricción en la cañería, se dan como la altura dinámica. Las altura dinámica para los codos, si se usan, dependen del ángulo y de su diámetro. La distancia horizontal, de existir debe considerarse solo para calcular las perdidas por fricción, pero no contribuye, siendo horizontal, a incrementar el valor de la Hd.

Los principales factores que determinan la configuración de un sistema de bombeo fotovoltaico son:

A) Las condiciones hidráulicas

- La profundidad del nivel del agua en el pozo bajo la superficie.
- La altura estática de elevación del agua por encima de la superficie del suelo (por ejemplo hasta un depósito de almacenamiento)
- Las pérdidas adicionales de presión en tuberías y accesorios (altura dinámica)

B) La energía suministrada por el generador fotovoltaico a lo largo del día, determinada por la radiación solar y las condiciones climatológicas.

De acuerdo con estos factores, se pueden definir varias configuraciones de un sistema de bombeo fotovoltaico: sumergible, flotante, con bomba centrífuga o de desplazamiento positivo, con motor de corriente continua o corriente alterna, etc.

Los componentes esenciales en toda instalación son:

- Subsistema de generación o generador fotovoltaico.
- Subsistema motor-bomba
- Subsistema de acumulación y distribución

Analicemos los factores que determinan la configuración del sistema.

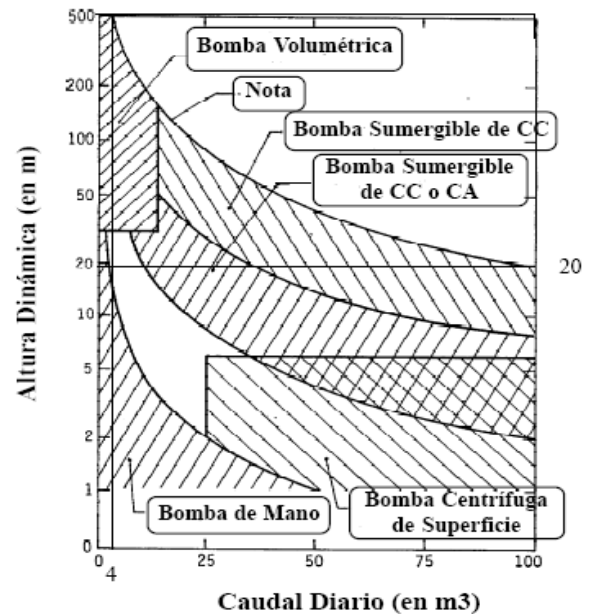
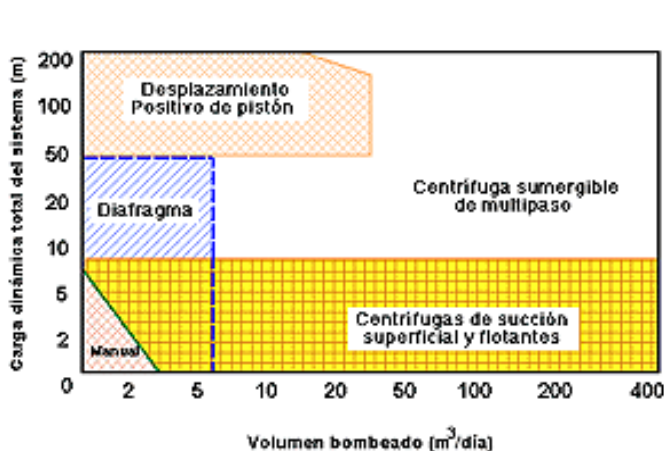
---

---

## Condiciones hidráulicas

Antes de determinar el tamaño del sistema de bombeo de agua, es necesario entender los conceptos básicos que describen las condiciones hidráulicas de una obra. El tamaño del sistema está en relación directa con el producto de la Carga Dinámica Total (CDT) y el volumen diario necesario. Este producto se conoce como ciclo hidráulico. La carga dinámica total es la suma de la carga estática (CE) y la carga dinámica (CD)

$$CDT = CE + CD = \text{Nivel estático} + \text{abatimiento} + \text{altura de la descarga} + \text{fricción}$$

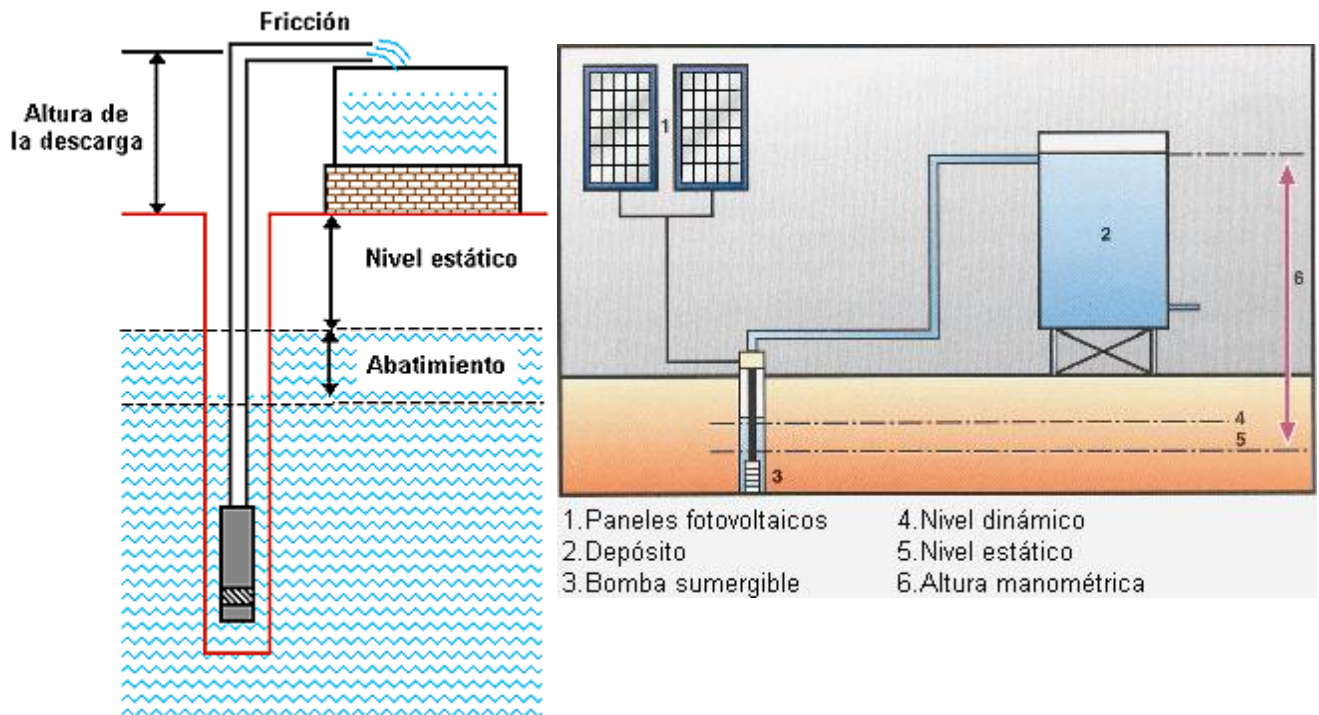


### **A) Carga estática**

La primera parte, la carga estática, puede obtenerse con mediciones directas. Se trata de la distancia vertical que el agua se desplaza desde el nivel de abatimiento del pozo hasta la altura en que se descarga el agua.

La carga estática es entonces la suma del abatimiento, el nivel estático y la altura de descarga. Todos los pozos experimentan el fenómeno de abatimiento cuando se bombea el agua. Es la distancia que baja el nivel del agua debido a la constante extracción de agua. La figura muestra estos componentes hidráulicos que forman carga estática.

---



## B) Carga dinámica (Fricción)

La carga dinámica, es el incremento en la presión causado por la resistencia al flujo al agua debido a la rugosidad de las tuberías y componentes como codos y válvulas. Esta rugosidad depende del material usado en la fabricación de las tuberías. Los tubos de acero producen una fricción diferente a la de los tubos de plástico PVC de similar tamaño. Además, el diámetro de los tubos influye en la fricción. Mientras más estrechos mayor resistencia producirá.

Para calcular la carga dinámica, es necesario encontrar la distancia que corre el agua desde el punto en que el agua entra a la bomba hasta el punto de descarga, incluyendo

---

las distancias horizontales, así como el material de la línea de conducción y su diámetro. Con esta información se puede estimar la carga dinámica de varias maneras.

### **Valor por omisión**

La carga dinámica es aproximadamente el 2% de la distancia de recorrido del agua. Por lo general el resultado es una estimación conservadora si se asume que los sistemas de bombeo solar típicos tienen flujos de menos de 1 L/s y las bombas recomendadas se conectan a tuberías de diámetro amplio.

### **Tablas de fricción**

Existen tablas publicadas por fabricantes que indican el porcentaje de fricción que debe añadirse en base al caudal, diámetro y material de las tuberías.

### **Formula de Manning**

Este es un método matemático que se puede realizar fácilmente con una calculadora de bolsillo. La fórmula de Manning se expresa así:

$$H_f = K \times L \times Q^2$$

Dónde:

$H_f$  es el incremento en la presión causada por la presión y expresada en la distancia lineal (m)

$K$  es una constante empírica con unidades de  $(m^3/s)^{-2}$

$L$  es la distancia total recorrida por el agua por las tuberías. Su unidad es metros (m).

$Q$  es el flujo expresado en metros cúbicos por segundo ( $m^3/s$ ).

La constante  $k$  se obtuvo después de experimentar con varios materiales y tamaños de tuberías.

---

---

Material	Diámetro en pulgadas				
	0.5	0.75	1	1.5	2
PVC	9,544,491	1,261,034	291,815	31,282	7,236
Galvanizado	19,909,642	2,631,046	608,849	65,263	15,097

Para la determinación de la energía hidráulica es necesario conocer en primer lugar las necesidades de agua, que las referiremos a los valores diarios medios de cada mes.

Se puede distinguir entre el consumo continuo, como el abastecimiento de agua potable, tanto para las personas como para el ganado, consumos estacionales como son los debidos al riego de cultivos.

Las necesidades de agua en las zonas rurales son de aproximadamente 25 a40 litros por persona. Para el uso agrícola varía según el cultivo y las condiciones climatológicas del lugar. Se estima, en 50 a 300 m<sup>3</sup> por hectárea / día.

No debemos olvidar hacer un estudio de capacidad de fuente de la que se va a bombear y sus variaciones estacionales. Se deberá prevenir cualquier caso que la bomba se quede sin agua mediante interruptores de flotación que detengan el bombeo cuando el agua descienda por debajo de un determinado nivel.

Para el cálculo de la energía hidráulica diaria mensual se empleara la expresión:

$$E_h = \rho \times g \times V \times h$$


---

---

Dónde:  $\rho$  es la densidad del agua (1000 kg/m<sup>3</sup>),  $g$  es la aceleración de la gravedad (9.81 m/s<sup>2</sup>),  $V$  es el volumen del agua necesario diariamente (valor medio del mes en m<sup>3</sup>/día) y  $h$  es la altura manométrica total de elevación.

La altura manométrica  $h$  es la suma de la altura estática o geométrica y la altura dinámica debida a las pérdidas de presión cuando el líquido se desplaza en el interior de una tubería.

La altura geométrica o estática es la diferencia de cotas entre el agua en la fuente que puede variar cuando se bombea, y el agua en la salida.

La altura dinámica se puede determinar mediante la expresión:

$$h_d = f \times (L/d) \times (v^2/(2 \times g))$$

Dónde:  $f$  es el coeficiente de fricción,  $L$  es la longitud de la tubería (m),  $d$  el diámetro hidráulico (m),  $v$  la velocidad media del fluido (m/s) y  $g$  es la aceleración de la gravedad (m/s<sup>2</sup>).

En el caso que se encuentre en el circuito otro tipo de accesorios como codos, válvulas, etc., se podrá emplear para ellos la siguiente expresión:

$$h_d = K \times (v^2/(2 \times g))$$

Siendo  $K$  un coeficiente que depende del tipo de accesorio. Es frecuente usar tablas en las que se indica las pérdidas de carga en función del caudal y el diámetro de la tubería. Como el diámetro de tubería aún no se conoce lo normal es fijar la altura dinámica en un 10% de la altura geométrica, ya que no debe ser mayor, y posteriormente elegir las tuberías y accesorios para que este valor no sea superado.

---

---

## **Subsistema de generación**

Un generador fotovoltaico consiste en conjunto de módulos, conectados en serie y/o en paralelo, que transforman la energía solar incidente en energía eléctrica.

La corriente de salida de un generador es corriente continua y la potencia eléctrica máxima que puede suministrar depende fundamentalmente de la irradiación solar incidente y de la temperatura ambiente. El generador fotovoltaico se caracteriza mediante su curva  $I - V$ , que a su vez queda definida mediante los siguientes parámetros:

$V_{oc}$  = Voltaje de circuito abierto

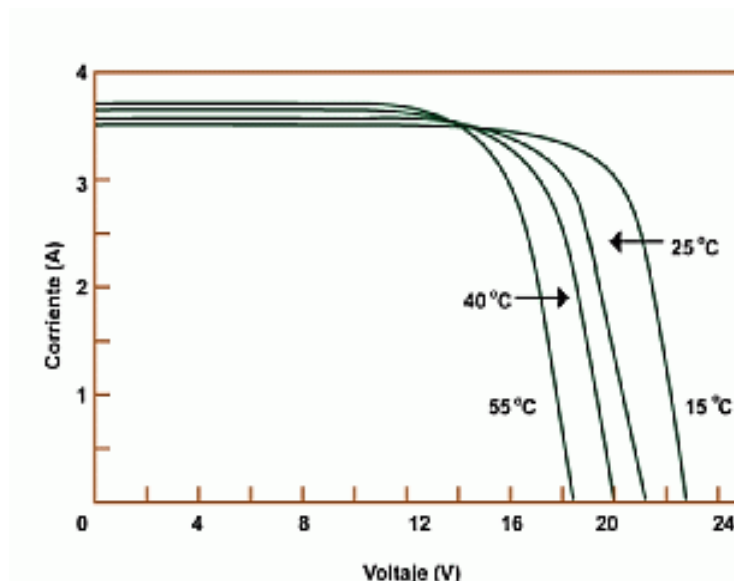
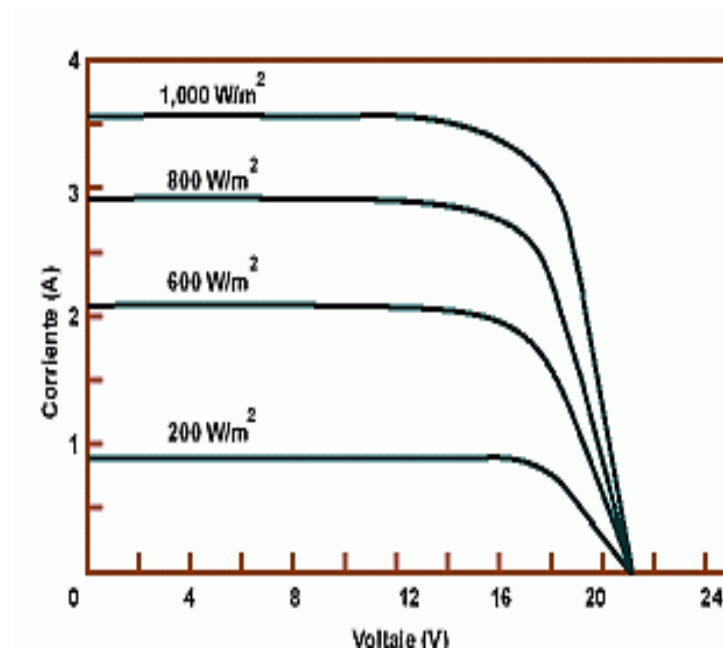
$I_{sc}$  = Corriente de corto circuito

$P_{max}$  = Potencia máxima, ( $P_{max} = V_{max} * I_{max}$ )

El generador puede trabajar en cualquier punto de la curva  $I - V$  suministrando una potencia distinta para idénticas condiciones de irradiancia y temperatura, impuesta por el tipo de carga eléctrica de salida.

El comportamiento de los módulos fotovoltaicos está definido por dos parámetros fundamentales: la radiación que tiene una relación lineal con la corriente generada (potencia generada), como ejemplo observaremos el siguiente modulo en donde se mostrara las curvas características del panel solar así como sus datos técnicos que se proporciona en fabricante a las condiciones de trabajos respectivas:

Modelo	VLX-53
Pp	53 W
Vp	17.2 V
Ip	3.08 A
Vca	21.5 V
Icc	3.5 A
Condiciones	1000 W/m <sup>2</sup> 25 °C



Para dimensionar el generador fotovoltaico consiste en determinar la potencia pico que se necesita instalar para satisfacer los consumos a lo largo de todo el año. El cálculo se hace para el mes crítico, utilizando valores medios mensuales.



---

La energía eléctrica que se necesita suministrar diariamente al sistema motor bomba, será el cociente entre la energía hidráulica requerida y el rendimiento diario medio mensual del grupo motor – bomba,  $\eta_{mb}$ , al que le podemos asignar un valor entre 0.3 y 0.4:

$$E_e = E_h / \eta_{mb}$$

Conocida la energía eléctrica diaria que es necesario aportar y a partir del dato de radiación diaria mensual y del rendimiento medio del generador fotovoltaico se obtiene el área de superficie colectora necesaria:

$$A = E_e / \eta_{fv} \times H_{dm})$$

El rendimiento fotovoltaico se puede determinar mediante la siguiente expresión:

$$\eta_{fv} = F_m \times (1 - \gamma(T_c - 25)) \eta_g$$

Siendo:  $F_m$  el factor de acoplo medio, definido como el cociente entre la energía eléctrica generada en condiciones de operación y la energía eléctrica que se podría generar si el sistema trabajase en el punto de máxima potencia. Un buen acoplamiento correspondería a valores medios para este factor superior a 0.8.

$\Gamma$  es el coeficiente de variación de la potencia con la temperatura de las células (entre 0.004 y 0.005 °C<sup>-1</sup>)

$T_c$  es la temperatura media diaria de los módulos durante las horas de sol.

$\eta_g$  es el rendimiento del generador a la temperatura de 25 °C y 1000 W/m<sup>2</sup> de irradiancia.

Se puede considerar para un sistema bien dimensionado desde el punto de vista del acoplamiento entre el generador y el grupo motor bomba, que las mayores temperaturas del panel que afectan negativamente al rendimiento, se alcanza en los momentos de mayor irradiación en los que el sistema deberá operar con valores de

---

---

acoplamiento elevados, estos es, en un punto próximo al de máxima potencia. Como consecuencia es habitual simplificar los cálculos utilizando un valor de rendimiento medio igual a  $0.8 \times \eta_g$ .

Para un cálculo más riguroso se puede determinar la temperatura media de las células mediante la siguiente expresión:

$$T_c = T_a + 0.03 \times I$$

Donde  $T_a$  es la temperatura ambiente e  $I$  es la irradiancia en ( $W/m^2$ ).

Luego, el área de superficie de panel necesaria será:

$$A = E_h / (\eta_{mb} \times F_m (1 - y (T_c - 25)) \eta_g \times H_{dm})$$

La potencia pico es la potencia proporcionada por el modulo en condiciones estándar de  $25^\circ C$  y  $1000 W/m^2$ , en las que el rendimiento es  $\eta_g$ , y que, por tanto, será:

$$P_p = \eta_g \times A \times 1000 = E_h \times 100 (\eta_{mb} \times F_m (1 - y (T_c - 25)) \times H_{dm})$$

La elección del modelo de modulo con más o menos células se serie y la configuración serie y paralelo de la asociación de módulos deberá hacerse teniendo en cuenta la curva  $I - V$  del grupo motor – bomba, tratando de conseguir que el sistema funcione prácticamente en el punto de máxima potencia durante las horas de mayor insolación.

Dividiendo la potencia pico necesaria, entre la potencia pico del módulo, se obtendrá el número de paneles necesarios.

Un factor determinante en el comportamiento de los módulos, es la temperatura, cuyo aumento arriba de los límites especificados por el fabricante ( $25^\circ C$ ) produce la disminución de la potencia, que está dada por la siguiente relación:

$$P (T^\circ C) = P (25) / 1 + P_{TC} (T - 25^\circ C)$$

---

---

Dónde:

P = Potencia generada

T = Temperatura de funcionamiento de las células (°C).

P<sub>TC</sub> = Factor de corrección de la potencia por efecto de la temperatura (0.005/°C)

La figura muestra las variaciones de la característica tensión – corriente respecto a variaciones de la temperatura de las células.

La temperatura de la célula T<sub>c</sub> está dada por la siguiente relación:

$$T_C = T_a + \theta_1 (1 + \theta_T T_a) (1 - \theta_W V_W) I$$

Dónde:

T<sub>a</sub> = Temperatura ambiente (°C)

T<sub>c</sub> = Temperatura de la célula (°C)

V<sub>W</sub> = Velocidad del viento (m/s)

I = Radiación solar instantánea incidente (W/m<sup>2</sup>)

θ<sub>1</sub>, θ<sub>T</sub>, θ<sub>W</sub> = constantes empíricas

Para módulos que están siendo usados en la actualidad, los valores de las constantes son las siguientes: θ<sub>1</sub> = 0.0138, θ<sub>T</sub> = 0.031, θ<sub>W</sub> = 0.042;

Una aproximación razonable es la siguiente:  $T_C = T_a + 0.03 * I$

---

---

## VIII. Dimensionamiento del sistema de Bombeo Fotovoltaico

Tomando en consideración las necesidades del proyecto de la comunidad de san Antonio.

Para dimensionar el sistema de bombeo se parte del conocimiento de las necesidades diarias de agua que con la altura manométrica nos permitirá determinar la energía hidráulica que se necesita cada día.

Una vez que se conoce la energía hidráulica necesaria, a partir de los datos de energía solar disponible se diseña el sistema generador.

Conociendo el sistema generador se elige el motor y la bomba más adecuados a su curva característica I-V, dentro del tipo que se haya seleccionado atendiendo a las características de la instalación: altura manométrica diámetro del pozo, etc.

Posteriormente se determina el caudal máximo que pueda proporcionar el equipo para dimensionar el sistema de tuberías, teniendo en cuenta que las pérdidas de carga en las mismas no debe superar el 10 %.

Datos		
caudal	2000	l/dia
reserva	500	l/dia
caudal extra	10%	l/dia
Nivel estático del agua	20	m
abastecimiento	1	m
altura de descarga	8	
distancia del deposito	10	
requerimiento diario	10000	

---

## RESUMEN DE CALCULOS A REALIZAR

### ➤ **Calculo del régimen de bombeo.**

Será el volumen de agua necesario (l/día), entre el valor de insolación en horas pico por día (horas-pico/día), correspondientes al mes crítico.

Régimen de bombeo (l/h) = volumen de agua necesaria (l/día) / insolación del sitio (h-pico/día)

### ➤ **Calculo de la carga estática.**

Es la suma del nivel estático medido desde el nivel del suelo hasta el espejo de agua cuando no opera una bomba, más el abatimiento medido desde el nivel estático al nivel del agua cuando opera una bomba, con frecuencia este valor se obtiene con de pruebas realizadas durante el aforo, más la altura de descarga medida desde el nivel del suelo hasta el punto donde el agua es descargada.

Carga estática (m) = Nivel estático (m) + Abatimiento (m) + Altura de descarga (m).

### ➤ **Calculo del recorrido de tubería.**

Es la longitud total de las tuberías por donde pasa el agua, la cual es la suma de la carga estática más el recorrido adicional de la tubería que es el resto de la tubería no incluida en el cálculo de la carga estática, se toma en cuenta la distancia vertical desde el abatimiento hasta la posición de la bomba, así como las distancias horizontales del recorrido de la tubería.

Recorrido total de tubería (m) = carga estática (m) + recorrido adicional de tubería (m)

---

---

➤ **Calculo de la carga por fricción.**

Es la compensación de las perdidas por fricción causadas por el paso del agua por la tubería rugosa, la cual viene a ser el producto del recorrido total de tubería multiplicado por el factor de fricción el cual es la presión causada por la fricción del agua al pasar por las tuberías.

Puede calcularse de varias maneras como se detalló anteriormente, si no se contara con suficiente información, se utiliza el valor por omisión de 2 % del largo de la tubería, expresado como 0.02.

Carga por fricción (m) = Recorrido total de tubería (m) x Factor de fricción (decimal)

➤ **Calculo de la carga dinámica total.**

Es la suma de la carga causada por la fricción y la carga estática

Carga dinámica total (m) = carga por fricción + carga estática (m)

➤ **Calculo de la energía hidráulica**

Es el cálculo de la energía necesaria para elevar el agua el cual viene a ser el producto del volumen de agua necesario por la carga dinámica total todo esto entre el factor de conversión de 367 l-m/ Wh el cual se usa para calcular la energía en (watts – hora) energía necesaria para levantar un litro de agua a una distancia de un metro.

Energía hidráulica (Wh/día) = (volumen de agua necesaria (l/día) x carga dinámica total (m)) / 367 (l-m/día)

---

---

➤ **Calculo de la energía del arreglo fotovoltaico**

Es la división de la energía hidráulica entre la eficiencia de la bomba, en donde la eficiencia de la bomba es la proporción de energía eléctrica transformada a energía hidráulica.

Los rendimientos diarios varían con la altura dinámica total, la insolación solar y el tipo de bomba esta información se obtiene en publicaciones del fabricante. Si no dispone de esta información, se usa valores por omisión presentados a continuación

<i><b>Carga dinámica total (m)</b></i>	<i><b>Tipo de sistema de bombeo</b></i>	<i><b>Eficiencia (%)</b></i>
5	Centrifuga de superficie	25
20	Centrifuga de superficie	15
20	Centrifuga sumergible	25
20 a 100	Centrifuga de paso múltiple	35
50 a 100	Desplazamiento positivo	35
Mas de 100	Desplazamiento positivo de palanca	45

Energía del arreglo fotovoltaico (Wh/día) = energía hidráulica (Wh/día) / eficiencia de la bomba (decimal)

➤ **Calculo de la carga eléctrica.**

Es el cálculo de la producción del arreglo fotovoltaico expresado en amperios-horas /día esto consiste en la división energía del arreglo fotovoltaico entre voltaje nominal del sistema.

Carga eléctrica (Ah/día) = Energía del arreglo fotovoltaico (Wh/día) / voltaje nominal del sistema (V).

---

---

➤ **Calculo de la carga eléctrica corregida**

Es la carga eléctrica requerida después de considerar las pérdidas para satisfacer la carga diaria.

Carga eléctrica corregida (Ah/día) = carga eléctrica (Ah/día) / factor de rendimiento del conductor (decimal)

➤ **Calculo de la corriente del proyecto.**

Es el cálculo de la corriente necesaria para satisfacer la carga del sistema del más crítico del diseño. Consiste en la división de la carga eléctrica corregida entre el mes de insolación más crítico o el mes de diseño

Corriente del proyecto (A) = Carga eléctrica corregida (Ah/día) / Insolación (horas-pico/día)

➤ **Calculo de la corriente ajustada del proyecto**

Es el cálculo de la corriente mínima del arreglo necesaria para activar el sistema de bombeo a partir de la operación de la corriente del proyecto entre el factor de reducción del módulo. Los módulos fotovoltaicos pierden eficiencia debido a las condiciones de trabajo en el campo.

Esto se debe al efecto de temperatura, degradación con el tiempo polvo en la superficie, cargas desiguales y algunas condiciones más. Suponga un 95 % de eficiencia en los módulos cristalinos y un 70 % en módulos amorfos.

Corriente ajustada del proyecto (A) = corriente del proyecto (A) / factor de reducción del módulo (decimal)

---



---

➤ **Cálculo de módulos en paralelo.**

Este cálculo proporciona el número de módulos que irán conectados en paralelo. Muy importante si el valor encontrado no es un número entero, anote el número entero inmediatamente mayor, otra opción es buscar un módulo con diferente  $I_{mp}$ .

Donde  $I_{mp}$  es la corriente a máxima potencia proporcionada por el fabricante del módulo fotovoltaico.

Módulos en paralelo = corriente ajustada del proyecto (A) / corriente  $I_{mp}$  del módulo (A)

➤ **Cálculo de los módulos en serie**

Es el cálculo del número de módulos conectados en serie necesarios para producir la tensión del sistema. Muy importante si el valor encontrado no es un número entero, anote el número entero inmediato superior.

Consiste en la división del voltaje nominal del sistema entre el voltaje  $V_{mp}$  del módulo de la información del fabricante.

Módulos en serie = voltaje nominal del sistema (V) / voltaje  $V_{mp}$  del módulo (V)

➤ **Cálculo del número total de módulos fotovoltaicos**

Es el producto del número de módulos en paralelo por el número de módulos en serie. Asegúrese que sea un número entero múltiplo del número de módulos en paralelo.

Total de módulos = módulos en serie x módulos en paralelo

---

---

➤ **Calculo del tamaño del arreglo.**

Es el cálculo de la potencia del arreglo fotovoltaico a partir del producto de total de módulos por corriente  $I_{mp}$  del módulo por voltaje  $V_{mp}$  del módulo.

Tamaño del arreglo fotovoltaico (w) = total de módulos x  $I_{mp}$  (A) x  $V_{mp}$  (V)

➤ **Calculo del agua bombeada.**

Es el cálculo de la cantidad de litros de agua bombeada en un día con este. Es el producto de módulos en paralelo por corriente  $I_{mp}$  por voltaje nominal del sistema por el factor de rendimiento del sistema por factor de conversión por la insolación del sitio por el factor de reducción del módulo todo esto entre la carga dinámica total.

Agua bombeada (l/día) = (módulos en paralelo x  $I_{mp}$  (A) x  $V_{nominal}$  sist x factor de rendimiento del sistema x factor de conversión x insolación (h-pico/día) x factor de reducción del módulo) / carga dinámica total (m)

➤ **Calculo del régimen de bombeo.**

Es la división del agua bombea entre la insolación del sitio mes critico

Régimen de bombeo (l/h) = agua bombeada (l/día) / Insolación del sitio (h-pico/día)

---

### CALCULO DE CARGA DE BOMBEO DE AGUA

				Factor de conversion	350	l-m/ Wh			
Volumen de agua necesaria	Insolacion del sitio	Regimen de Bombeo		Factor de friccion	2%				
				voltaje nominal	24				
				Eficiencia de Bomba	0.35				
				Factor de Rendimiento del Conductor	0.95				
Nivel <b>estatico (m)</b>	abastecimiento (m)	altura de descarga (m)	carga estatica (m)	recorrido (m) adicional tuberia	recorrido total tuberia (m)	factor de friccion	carga por friccion (m)	carga estatica(m)	carga dinamica total (m)
20	1	8	29	1.2	30.2	2%	0.604	29	29.60
volumen agua necesario x dia (L/dia)	carga dinamica total (m)	factor de conversion	energia Hidraulica (Wh/dia)	eficiencia de la bomba	energia del arreglo FV(Wh/dia)	Voltaje nominal del sistema (24v)	carga electrica Ah/dia		
2000	29.60	350	169.17	0.35	483.33	24.00	20.14		
			Carga electrica (Ah/dia)	Factor rendimiento del conductor	Carga electrica corregida Ah/dia	Insolacion del sitio (h-pico/dia)	corriente del proyecto (A)		
			20.14	0.95	21.20	5.00	4.24		

## DIMENSIONAMIENTO DEL ARREGLO FOTOVOLTAICO

INFORMACION DEL										
MODULO FOTOVOLTAICO										
Marca				Corriente del Proyecto (A)	Factor de Reduccion Modulo	Corriente Ajustada del Proyecto (A)	Corriente Imp del modulo (A)	Modulos en paralelo		
Modelo				4.24	0.95	4.46	4.14	2		
Vmp	16.9									
Imp	4.14		Voltaje Nominal del sistema (V)	Voltaje Vmp del modulo(V)	Modulos en serie	Modulos en Paralelo	Total de modulos	Corriente Imp del modulo(A)	Voltaje Vmp del modulo(V)	Tamaño del arreglo FV(W)
Voc	21.5									
Isc	4.35		24	16.9	2	2	4	4.14	16.9	280
Factor de reduccion modulo	0.95									
Factor de rendimiento del sistema	0.35									

AGUA BOMBEADA Y REGIMEN DE BOMBEO								
Modulos en paralelo	Corriente Imp del modulo (A)	Voltaje Nominal del sistema (V)	Factor de rendimiento del sistema	Factor de conversion	Insolacion del sitio (h-pico/dia)	Factor de reduccion del modulo	Carga dinamica total (m)	Agua (L/dia) Bombeada
2	4.14	24	0.35	350	5.00	0.95	29.60	3906
						Agua Bombeada (L/dia)	Insolacion del sitio (h-pico/dia)	Regimen de Bombeo (L/h)
						3906	5.00	782

RESUMEN DE CALCULOS DEL SISTEMA DE BOMBEO FOTOVOLTAICO	
VOLUMEN DE AGUA NECESARIA POR DIA (l/dia)	2000
REGIMEN DE BOMBEO (l/dia)	782
CARGA DINAMICA TOTAL (m)	29.60
ENERGIA HIDRAULICA (Wh/dia)	169.17
ENERGIA DEL ARREGLO FV (Wh//dia)	483.33
INTENSIDAD DEL PROYECTO (A)	4.24
NUMERO TOTAL DE MODULOS	4
MODULOS EN PARALELO	2
MODULOS EN SERIE	2
POTENCIA DEL ARREGLO	280
CANTIDAD DE AGUA BOMBEADA	3906
REGIMEN DE BOMBEO (l/h)	782

---

## **IX. Conclusiones y Recomendaciones**

El estudio llevado a cabo de tesis ha permitido estudiar en qué grado, los sistemas de bombeo solar de pequeña potencia son altamente rentables si se les compara con los de gasto de energía derivada del petróleo.

Veamos algunas conclusiones:

Se logró realizar el diseño del proyecto de generación de energía fotovoltaica con características de viabilidad para el bombeo de agua. Los sistemas de bombeo solar son flexibles respecto a las motobombas convencionales, ya que una misma bomba puede aumentar su capacidad si se aumenta el número de módulos fotovoltaicos, hasta ciertos límites dependiendo de los componentes del sistema, entre los cuales se pueden nombrar, los límites estructurales (para soportes de módulos) y el calibre de los conductores eléctricos.

Se estima que el tiempo de vida de los componentes de la electro bomba es de 5 a 10 años dependiendo de la tecnología y en el caso de una instalación con energía solar el tiempo de vida es de 20 años

Por último se realizaron los cálculos de fuente de generación y los cálculos hidráulicos del sistema de bombeo fotovoltaicos. Con la ayuda de la herramienta Excel fue muy fácil llevar a cabo dichos cálculos.

---

---

## **Recomendaciones**

Los sistemas de bombeo FV directamente conectados al generador, esto es, sin baterías, son los más recomendados. Sin embargo hay muchos sistemas en los cuales esta configuración no se puede utilizar:

- Cuando las alturas de bombeo son demasiado grandes para poder utilizar una bomba centrífuga con un rendimiento aceptable.
  - Cuando no se dispone de motores DC de la potencia necesaria, como en sistemas de elevada potencia, o cuando se necesita un motor sumergible y no se dispone de un motor DC sin escobillas.
  - Cuando el bombeo en las horas de sol pico excede la capacidad de la fuente de agua, entonces es necesario incluir un sistema de control.
  - Cuando las baterías son esenciales para almacenamiento de energía, esto es, cuando la disponibilidad de agua debe ser muy grande y no se dispone de depósitos de almacenamiento o estos resultan más caros que un sistema de baterías.
-

---

## **X. Bibliografía**

1. Alonso M. y Chenlo F. Equipos de bombeo alimentados mediante energía solar fotovoltaica. Plan de Actuación
  2. Fotovoltaica de OCIDE. Proyecto cofinanciado por la Compañía Sevillana de Electricidad (1992).Guía para el Desarrollo de Proyectos de Bombeo de Agua con Energía Fotovoltaica, Volúmenes 1 y 2, Programa de
  3. Energía Renovable en México, FIRCO/UNAM/SWTDI/ Sandia National Laboratories,2000.
  4. Nassir Sapag Chain . Preparación y Evaluación de Proyectos. 2da Edición.
  5. Roberto Hernández Sampieri. Metodología de la Investigación. Editorial, MCGRAW HILL.
  6. Manual de Bombeo GRUNDFOS INDUSTRY
  7. Guía de la Energía Solar. Dirección General de industria, energía y minas. COMUNIDAD MADRID.
  8. Héctor Gasquet. Manual teórico y práctico sobre los sistemas fotovoltaicos. SOLARTRONIC S.A de CV. Morelos México
  9. [http://solar.nmsu.edu/wp\\_guide/dim\\_instructions.html#top](http://solar.nmsu.edu/wp_guide/dim_instructions.html#top)
  - 10.- “Fuentes renovables de energía para sistemas de abastecimiento de agua” primera edición Hofkes E. H. 1990
  - 11.- “Bombeo Fotovoltaico” primera edición Orellana R. 1989
  12. Castro Gil MANUEL. “Sistemas de bombeo Eólicos y Fotovoltaicos. PROGENSA 2003.
  - 13.- Tobaja Vazquez MANUEL. Energía solar fotovoltaica. CEYSA.
  - 14.- [www.censolar.es](http://www.censolar.es)
  - 15.- [www.managenergy.net](http://www.managenergy.net)
  - 16.- [www.energiasostenible.org](http://www.energiasostenible.org)
-